Generativ gefertigtes Werkzeug mit strukturintegrierten Heatpipes

Autor:

Ohsenbrügge, Christoph; Schneider, Dorothea

Institution:

Fraunhofer-Gesellschaft, Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik, IWU Dresden

Datum:

2014-12-01

1. Zugrundeliegendes technisches Problem

In der Fertigung von Bauteilen ist vielfach eine Temperierung von Werkzeugen und Formen notwendig oder vorteilhaft. So werden beispielsweise in Warmumformprozessen gekühlte Matrizen und Formen eingesetzt. Die Temperierung der Werkzeuge und Formen wird beispielsweise in getakteten Prozessen für eine geregelte Ausgangssituation in jedem Takt eingesetzt oder zur gezielten Temperierung der Werkstücke im Prozess (beispielsweise beim Presshärten). Auch zum gezielten Abkühlen eines eingebrachten Werkstoffes bei Urformverfahren wie dem Spritzgießen kommen temperierte Werkzeuge und Formen zum Einsatz.

2. Bisherige Lösungsansätze

Das Verfahren zum Presshärten von Blechen gehört zum Stand der Technik (z.B. [1]). Eine allgemeine Übersicht über gekühlte Formen bzw. Werkzeuge findet sich in [2].

Die fluidische Kühlung kann über Werkzeuge realisiert werden, die aus sogenannten Kühlschalen und Formgrundkörpern zusammengefügt sind. Dabei sind zwischen Kühlschale und Formgrundkörper wasserführende Nuten eingebracht. Diese Nuten werden beispielsweise durch dreidimensionale Fräsbearbeitung realisiert. Nachteil dieser Lösung ist der hohe Fertigungsaufwand zum Einbringen der fluidführenden Nuten, das Eintuschieren der Kühlschalen auf den Formgrundkörper sowie die Abdichtung.

Ein alternatives Verfahren sieht das Einbringen von Tieflochbohrungen in das Werkzeug vor. Nachteilig sind auch hier der hohe Fertigungsaufwand sowie die starken geometrischen Einschränkungen für den Verlauf der Fluidkanäle. Zur optimalen Wärmeabfuhr sind Fluidkanäle möglichst nah an der Werkzeugoberfläche und damit nah am zu kühlenden Werkstück nötig. Das umgebende Material des Werkzeuges weist typischerweise eine geringe Wärmeleitfähigkeit auf und somit ist der Abstand zwischen Werkzeugoberfläche und Fluidkanal entscheidend für die Wärmeübertragung hin zum kühlenden Fluid.

Eine weitere Variante ist der Bau eines Werkzeuges durch generative Fertigungsverfahren wie beispielsweise Laserstrahlschmelzen. Hierbei werden Kühlkanäle direkt in das Werkzeug oder einen Werkzeugeinsatz eingearbeitet. Die Anordnung der Fluidkanäle unterliegt bei diesem Verfahren

wesentlich geringeren geometrischen Beschränkungen und somit ist eine Kühlung sehr nah an der Werkzeugoberfläche möglich. Diese kann durch parallele oder serielle Anordnung von Fluidkanälen oder durch eine flächige Durchströmung realisiert werden. Dabei ist jedoch darauf zu achten, dass das Werkzeug weiterhin eine ausreichende mechanische Festigkeit aufweist. Insbesondere bei flächig angeordneten Kühlgeometrien führen die eingebrachten Kavitäten zu einer verminderten mechanischen Belastbarkeit. [3]

Auch sind bereits Werkzeuge bekannt, bei denen der Wärmetransport über eingefügte Heatpipes erfolgt. Dazu wurden Bohrungen in das Werkzeuge eingebracht und in diesen Bohrungen Heatpipes angeordnet [4]. Diese Lösungsvariante beschränkt sich jedoch auf gerade, zylindrische Heatpipes. Ausserdem entsteht durch die Anbindung der Heatpipes an den Werkzeugkörper durch die nachträgliche Zusammenfügung ein thermischer Kontaktwiderstand, der die Leistungsfähigkeit einschränkt.

3. Lösungsweg

Ein Werkzeug oder ein Werkzeugeinsatz werden durch selektives Laserstrahlschmelzen oder andere a Fertigungsverfahren hergestellt. Dabei werden Hohlstrukturen vorgesehen, die im Anschluss mit einem geeigneten Arbeitsfluid befüllt und bei geeignetem Innendruck verschlossen werden.

Die Hohlstrukturen werden dabei so angeordnet, dass ein Bereich der Hohlstruktur nah an der Wärmquelle liegt. Diese Wärmequelle kann beispielsweise die Werkzeugoberfläche sein, an der der Kontakt mit dem zu kühlenden Blech entsteht. Im Bereich des Wärmeeintrags wird das Arbeitsfluid in der Hohlstruktur verdampft. Ein zweiter Bereich der Hohlstruktur wird so angeordnet, dass ein Kondensieren des Arbeitsfluids möglich wird und entsprechend Wärme abgeführt werden kann. Dementsprechend sollte der zweite Bereich an einer Wärmesenke wie beispielsweise einem mit Kühlmedium durchströmten Bereich angeordnet werden.

Die Rückführung des kondensierten Arbeitsfluids kann bei entsprechender Ausrichtung der Hohlstrukturen aufgrund der Schwerkraft erfolgen. An der Innenseite der Hohlstruktur eingebrachte Kapillarstrukturen können diesen Vorgang unterstützen. Mit geeigneten Kapillarstrukturen ist sogar ein Fluidtransport entgegen der Schwerkraft zwischen Kondensations- und Verdampfungsbereich realisierbar. Bei generativer Fertigung der Hohlstruktur kann eine solche Kapillarstruktur im Fertigungsprozess mit integriert werden.

Das eingebrachte Arbeitsmedium sowie der Druck in der Hohlstruktur sollte abhängig vom gewünschten Arbeitsbereich gewählt werden. Als Medien sind beispielsweise denkbar: Wasser, Fluorkohlenstoffe, Ammoniak, Kohlendioxid oder Kohlenwasserstoffe wie Butan oder Propan. Durch den Innendruck können bei gleichem Fluid unterschiedliche Arbeitstemperaturen eingestellt werden. Desweiteren ist das Arbeitsvermögen von Heatpipes durch geeignete Zusatzeinrichtungen einstellbar. Beispielsweise kann durch eine eingebrachte Gasblase je nach Temperatur und Druck der Kondensationsbereich mehr oder weniger blockiert werden.

Die Verdampfungs- und Kondensationsbereiche einer miteinander verbundenen Hohlstruktur können wahlweise einfach oder mehrfach ausgeführt sein. Ebenso kann die Umsetzung nur mit einer einzelnen (eventuell verzweigten) Hohlstruktur erfolgen als auch mit mehreren voneinander getrennten Hohlstrukturen.

4. a) Wirkungen und Vorteile

Durch die hohe Freiheit hinsichtlich der geometrischen Anordnung der Hohlstrukturen ist eine Platzierung von Verdampfungsbereichen sehr nah an der Wärmequelle, beispielsweise an der Werkzeugoberfläche, möglich. Dies ermöglicht einen guten Wärmetransport von der Wärmequelle in die wärmeübertragende Hohlstruktur. Das Gleiche gilt für die Kondensationsbereiche. Weiterhin ist eine hohe Flexibilität hinsichtlich des Verlaufs der Hohlstrukturen im Werkzeug möglich. Somit ist trotz eventuell komplexer geometrischer Randbedingungen eine optimierte Führung von Wärmeströmen möglich. Weiterhin können die Kondensations- und Verdampfungsbereiche geometrisch vorteilhaft für die jeweiligen physikalischen Prozesse ausgebildet werden. Die jeweiligen Bereiche können durch entsprechende Gestaltung große Oberflächen aufweisen, über die Wärme von der umgebenden Struktur in das Arbeitsmedium, beziehungsweise umgekehrt, übertragen werden kann. Weiterhin vorteilhaft ist der fehlende thermische Kontaktwiderstand zwischen Hohlstruktur und umgebender Struktur (im Unterschied zu den nachträglich eingebrachten Heatpipes im Stand der Technik).

Gleichzeitig kann durch die hohe geometrische Gestaltungsfreiheit die mechanische Stabilität der Struktur sichergestellt werden.

4. b) Umgehungsmöglichkeiten

Den Erfindern ist keine Umgehungsmöglichkeit bekannt. Da die vorliegende Erfindung eine Verbesserung bestehender Lösungen darstellt, ist ein alternativer Einsatz der bisherigen Lösungen denkbar.

4. c) Nachweis von Patentverletzungen

Da die vorgeschlagene Lösung im Inneren eines Werkzeuges Anwendung findet, ist ein Nachweis von außen nur schwer möglich. Das Vorhandensein von entsprechenden Hohlstrukturen könnte mittels bildgebenden Verfahren (z.B. Röntgen) nachgewiesen werden.

5. Technisches Anwendungsgebiet

Zur Herstellung gehärteter Stahlbauteile wird das sogenannte Presshärten eingesetzt. Hierzu wird eine Platine zunächst bei hoher Temperatur austenitisiert, dann im heißen Zustand in eine Matrize überführt und in dieser weiterhin im heißen Zustand tief gezogen. Durch den großen Temperaturunterschied zwischen Platine und Matrize sowie die hohe Wärmekapazität der Matrize wird das Stahlblech stark abgekühlt. Dabei erfolgt die Abkühlung mit einer Geschwindigkeit, die über der kritischen Härtegeschwindigkeit liegt. Auch bekannt ist ein Verfahren, bei dem eine Platine zunächst vollständig kalt umgeformt wird. Im Anschluss wird das erzeugte Bauteil auf die für die Austenitisierung notwendige Temperatur erhitzt und folgend in ein Formhärtewerkzeug überführt. In diesem erfolgt ein rasches Abkühlen und damit Härten, während das Bauteil in seiner Form festgehalten wird. Zur Realisierung hoher Taktraten werden solche Formwerkzeuge oder Matrizen mit Flüssigkeitskühlungen temperiert. Dies gewährleistet eine ausreichend geringe Werkzeugtemperatur, um das Bauteil mit einer über der kritischen Härtegeschwindigkeit liegenden Geschwindigkeit abzukühlen. Für dieses Verfahren des Presshärtens kann die hier beschriebene Erfindung eingesetzt werden.

Das Prinzip von strukturintegrierten Heatpipes in generativ gefertigten Strukturen lässt sich jedoch auf weitere Bereiche übertragen. Insbesondere ist eine Anwendung des Prinzips auf jegliche Matrizen, Formen und Werkzeuge übertragbar, bei denen eine thermische Regulierung erforderlich ist. Weitere

Beispiele sind Kunststoffspritzguss, Aluminiumdruckguss oder Schäumverfahren. Ebenso sind Strukturbauteile oder Umhausungen herstellbar, die Heatpipes zur Temperierung integriert haben. Hierdurch ergibt sich ein hoher Grad an Funktionsintegration.

Referenzen

1. Gerlach L, Werbs M (2011) Mehrstufiges direktes Formhärten(DE102009060388A1)
2. Dimitrov D, Moammer A, Mabogo M Thermal Management of Moulds and Dies - State of the Art and Future Perspectives, South Africa
3. Neugebauer R, Müller B, Gebauer M et al. (2011) Additive manufacturing boosts efficiency of heat transfer components. Assembly Automation 31(4): 344–347. doi: 10.1108/01445151111172925
4. Sommer A, Kelsch R, Bauer M et al. (2009) Vorrichtung zum Herstellen gehärteter Stahlbauteile(DE102009045597B3)